



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

TREBALL FINAL DE GRAU

“CONTROL D’UN LÀSER PER APLICACIONS OFTALMOLÒGIQUES AMB ARDUINO”

MARC SUÑÉ CARBONELL

Mikel Aldaba Arevalo
Fernando Guillermo Sanabria Ortega
Departament d’òptica i optometria

Terrassa, 12 de Juny del 2019

Facultat d’òptica i optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2019. Tots els drets reservats



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

RESUM

El làser es un aparell que amplifica la llum a través de la emissió estimulada. Es caracteritza per emetre llum d'una sola longitud d'ona, amb una gran direccionalitat, i de manera coherent.

Actualment, es poden trobar moltes aplicacions d'aquest aparell, tant en la vida quotidiana com en sectors més tècnics com pot ser en l'enginyeria, indústria o fins i tot en el camp de la medicina.

En aquest treball es dona èmfasi en l'apartat de la oftalmologia i optometria clínica, ja que des del febrer de 2019, en el CD6 de la UPC, s'està treballant amb un sistema on s'utilitza un làser que té com a principal objectiu el diagnòstic precoç de l'ull sec.

D'altra banda, Arduino és una placa electrònica de font oberta que rep inputs i envia outputs i permet que un dispositiu es pugui accionar de manera autònoma un cop introduïdes les ordres al software. La programació d'aquest xip es basa en un entorn de desenvolupament que s'integra a Java, cosa que permet el seu ús en diferents sistemes operatius.

L'objectiu d'aquest projecte de final de grau és proposar un sistema de control d'un làser d'aplicacions oftalmològiques que podria ser utilitzat en el sistema làser que s'està treballant en el CD6 de la UPC, amb la finalitat de desenvolupar una tècnica fiable i molt més econòmica que les que hi ha actualment.



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

RESUMEN

El láser es un aparato que amplifica la luz a través de la emisión estimulada. Se caracteriza por emitir luz de una sola longitud de onda, con una gran direccionalidad, y de manera coherente.

Hoy en día, se pueden encontrar muchas aplicaciones de este aparato, tanto en la vida cotidiana como en sectores más técnicos como puede ser en la ingeniería, industria o incluso en el campo de la medicina.

En este trabajo se da énfasis en el apartado de la oftalmología y optometría clínica, ya que desde febrero de 2019, en el CD6 de la UPC, se está trabajando con un láser que tiene como principal objetivo el diagnóstico precoz del ojo seco.

Por otro lado, Arduino es una placa electrónica de fuente abierta que recibe inputs y envía outputs y permite que un dispositivo pueda accionarse de manera autónoma una vez introducidas las órdenes en el software. La programación de este chip se basa en un entorno de desarrollo que se integra en Java, lo que permite su uso en diferentes sistemas operativos.

El objetivo de este proyecto de fin de grado es proponer un sistema de control de un láser de aplicaciones oftalmológicas que podría ser usado en el sistema láser que se está trabajando en el CD6 de la UPC, con el fin de desarrollar una técnica fiable y mucho más económica que las que se emplean en la actualidad.



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

ABSTRACT

The laser is a device that amplifies light through stimulated emission. It is characterized by emitting light of a single wavelength with a great directionality and in a coherent way.

Nowadays, you can find many applications of this system, both in everyday life and in more technical fields such as engineering, industry or even in the field of medicine.

In this project an emphasis is given to the section of ophthalmology and clinical optometry. Since February of 2019 the CD6 of the UPC has been working with a laser whose main objective is the early diagnosis of dry eye.

Additionally, Arduino is an open source chip that receives inputs, sends outputs and allows a device to be operated autonomously once the orders have been entered into the software. The programme of this chip is based on a development environment that is integrated into Java, which allows its use in different operating systems.

The objective of this Final degree project is to propose a laser control system for ophthalmological applications to be used at the CD6 of the UPC, in order to develop a reliable and less expensive technique than those currently available.



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

Agraïments

Després d'un període llarg i intens en aquests últims mesos, m'agradaria donar les gràcies a Fernando Guillermo Sanabria Ortega com a director del treball i especialment a Mikel Aldava Arevalo que com a tutor del projecte m'ha ajudat i orientat sempre que ho he necessitat.

Tanmateix m'agradaria afegir que gràcies al suport que he rebut de Marta Hellin i a Carla Barnera vaig poder realitzar la part pràctica del projecte al cd6 on elles feien les pràctiques dels seus respectius treballs.

I finalment, agrair l'ajuda que he rebut de tota la meva família recolzant-me i animant-me sempre que trobava dificultats alhora de realitzar aquest treball.



ÍNDEX

1. Marc teòric.....	8
1.1. Introducció	8
1.2. Làser.....	9
1.2.1. Definició.....	9
1.2.2. Com funciona un làser?	10
1.2.3. Tipus de làser	10
1.2.4. Aplicacions del làser	11
1.2.5. Com s'alimenta un làser?	14
1.2.6. Graus de perillositat dels làsers.....	15
1.3. Arduino	16
1.3.1. Definició.....	16
1.3.2. Estructura de un Arduino	16
1.3.3. Tipus.....	18
1.3.4. Arduino UNO R3	18
1.3.5. Per a què s'utilitza?	19
1.3.6. Avantatges	20
2. Marc pràctic	21
2.1. Com funciona el muntatge del làser amb alimentació convencional?	21
2.2. Alimentació del làser amb Arduino	23
2.2.1. Procediment del muntatge experimental.....	24
3. Resultats i discussió	28
3.1. Emissió d'un feix de llum d'un làser basat en Arduino	28
3.2. Regulació amb potenciòmetre del làser amb Arduino.....	29
3.3. Comparativa entre Arduino i la caixa electrònica convencional.....	31
3.3.1. Funcionament.....	31
3.3.2. Cost	31
3.3.3. Dimensions	32
4. Conclusions.....	33
5. Bibliografia.....	34
6. Taula d'il·lustracions.....	35



1. *Marc teòric*

1.1. Introducció

El làser és una eina molt útil utilitzada actualment en molts camps que tenen poca relació les uns amb els altres. Ja fa unes dècades que el làser va ser incorporat en el món de la medicina i més concretament en l'oftalmologia i optometria.

En aquest projecte s'ha treballat amb temes com el concepte de làser, la seva classificació i el seu funcionament. També s'ha destacat la importància que té aquest instrument avui dia i s'ha nomenat i explicat les principals aplicacions que se li dona en diversos sectors.

El funcionament habitual del làser sol ser gràcies a una electrònica aplicada, d'acord amb les despeses que aquesta comporta, en aquest treball es proposa un mètode per tal que el seu funcionament sigui més econòmic i molt més pràctic.

De la mateixa manera, en aquest projecte es parla del pes que està tenint actualment Arduino, a l'hora de fer funcionar dispositius. També s'han mencionat les seves característiques i detallat la seva utilitat i els avantatges que poden tenir en comparació amb les eines que s'utilitzen actualment.

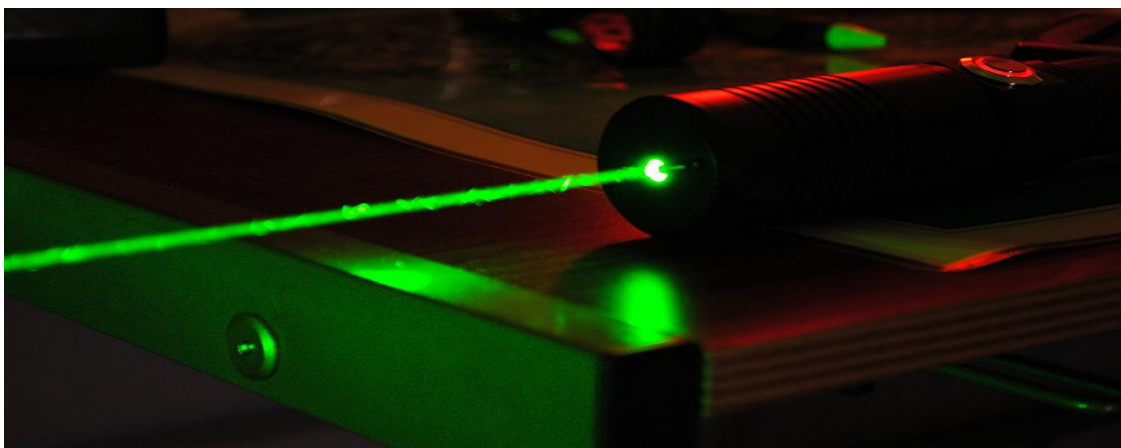
Finalment s'ha fet una discussió sobre quin és el millor mètode a aplicar, en el cas d'alimentar un làser dirigit per la detecció precoç de l'ull sec, centrat en la proposta d'un muntatge experimental; un pel muntatge del làser ja fet al CD6 i un altre que s'introdueix en el treball per alimentar aquest làser on s'expliquen pas a pas els detalls de la proposta i per finalitzar la seva validació.

1.2. Làser

1.2.1. Definició

La paraula LASER, és un acrònim que ve de l'anglès: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, és a dir, amplificació de la llum a través de l' emissió estimulada; es tracte d'un aparell que emet un feix de llum coherent, monocromàtic i col·limat, de forma estimulada. [1]

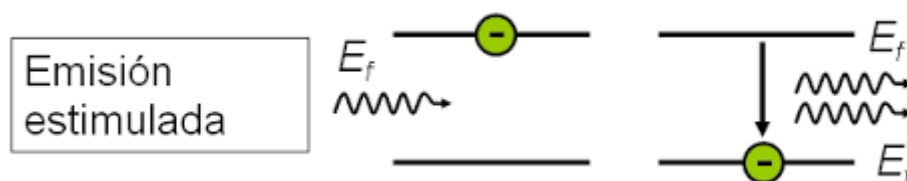
El feix de llum és coherent perquè els fotons generats a través de l'emissió estimulada estan en fase amb els fotons estimulats prèviament, és monocromàtic perquè permet utilitzar un feix de llum d'una sola longitud d'ona, i col·limat perquè la disposició de la cavitat fa que la radiació que s'emeti, tingui una escassa divergència i per tant una direccionalitat molt elevada. [2]



Il·lustració 1. En aquesta imatge es pot observar un làser en funcionament.

1.2.2. Com funciona un làser?

Un làser proporciona una forma d'emissió de radiació lluminosa amb característiques especials. Es basa en l'emissió estimulada que és un procés en el qual un àtom excitat interacciona amb un fotó l'energia del qual és idèntica a la que emet aquest àtom, quan es desexcita espontàniament, induint així la immediata desexcitació i, amb això, l'emissió d'un fotó absolutament idèntic al primer en freqüència, fase i direcció.[2]



Il·lustració 2. Representació en esquema d'una emissió estimulada d'un feix de llum d'un làser.

1.2.3. Tipus de làser

Podem classificar els tipus de làser de diferents maneres:

1. Segons el medi actiu: Aquests tenen una gran correlació amb els tipus de làsers segons la seva longitud d'ona, donat que el material que constitueix el medi actiu és bàsicament l'element que determina la longitud d'ona del làser. [2]

Trobem medis actius de:

- Gas, com per exemple làser de gas excimer que utilitza una barreja de gasos com l'Argó, Neó i Xenó. Depenent de la combinació de gasos el làser pot treballar amb longituds d'ona d'entre 193 nm fins a 248 nm.[3]
- En el cas dels làsers en estat sòlid podem trobar longituds d'ona d'entre 1600-2100 nm.
- Làsers semiconductors que poden adoptar longituds d'ona molt variable.
- Líquid, com per exemple el làser de coramina es tracte d'un làser de tint que actua en l'espectre visible corresponent al color verd i blau (400nm).

2. Segons el rang espectral de la longitud d'ona: Un làser funciona amb una única longitud d'ona, aquesta longitud d'ona dependrà principalment de les seves aplicacions. Es pot fer una classificació dels làsers a partir de si formen part del rang espectral de l'ultraviolat (10-400 nm), del visible (400-700 nm) o bé de l'infraroig (1000 nm – 1 mm).[3]
3. Segons el nombre de nivells energètics que participen en el procés del làser: si es tracte d'un làser de baixa, mitjana o elevada potència.

1.2.4. Aplicacions del làser

1.2.4.1. Aplicacions generals

Es pot dir que el làser ha estat un dels invents més notoris en el camp de l'òptica, avui dia es pot trobar un ampli ventall d'àmbits en els que s'utilitza el làser. Els dividim segons el punt d'enfocament:

1. Vida quotidiana

Reproductors de CD, DVD i Blue-Ray: El làser envia un feix de llum a la làmina del disc en rotació. Seguidament el làser penetra en les zones on hi ha osques i aquestes dispersen la llum incident enviant aquesta llum dispersada a un sensor que la identifica i la transforma en sons i imatges.



Il·lustració 3. Exemple de lector de cd amb làser.

2. Enginyeria/Indústria

Els làsers que es solen utilitzar en aquest camp tenen com a principal objectiu emetre una radiació de llum suficientment elevada com per aconseguir modificar materials durs com pot ser l'acer o altres metalls. L'existència d'aquests làsers fa que es puguin trobar en àmbits com el de la soldadura. Un exemple podria ser els làsers de gran potència de fusió com el de CO₂, el nd:YAG i el de díode; amb longituds d'ona molt elevades i que s'acosten als 1064 nm. A més d'aquests casos, també es poden trobar làsers en robots de fabricació i en casos de mesures precises de distàncies.

3. Medicina

Es tracte d'un dels camps on més rellevància ha tingut el seu ús, doncs gràcies a ell, s'ha pogut avançar en àmbits com són els de les operacions. Amb la introducció del làser i amb els anys, s'ha pogut incrementar la precisió de les intervencions quirúrgiques gràcies a les eines utilitzades, apart de reduir de forma important les possibles complicacions.

Cal esmentar l'existència d'uns làsers de baixa potència utilitzats en la medicina quirúrgica, i tenen unes propietats que ajuden a tallar, vaporitzar, coagular o fer ablacions de certs teixits humans. Són làsers coneguts com "Low Power Laser".[4]

Tanmateix hi ha un altre tipus de làsers de mitjana i baixa potència com és el làser tou, o també conegut "low level lasertherapy" que son utilitzats com a mètodes de tractament i rehabilitació en diferents àmbits de la medicina i la fisioteràpia, gràcies a l'emissió de calor. La radiació de certs feixos de llum en certes longituds d'ona sobre les cèl·lules del cos humà pot activar alguns components nadius de les cèl·lules d'un teixit afectat, afavorint la circulació sanguínia i per tant la seva rehabilitació. El "low level lasertherapy" es pot aplicar per exemple en:

- Traumatologia i medicina esportiva: s'utilitza com a analgèsic i antiinflamatori en tot tipus de traumatismes, lesions lligamentoses i articulars. Funciona com el mètode tradicional de l'acupuntura, alleugen el dolor.[5]

- Reumatologia: artrosi de qualsevol localització, així com afectacions lligamentoses, per exemple, el síndrome del túnel carpià. El làser en aquest cas emet calor suficient com per millorar la circulació sanguínia i per tant la recuperació de teixits o fins i tot pal·liar el possible dolor ocasionat per la patologia, amb un pronòstic de recuperació i millora de la qualitat de vida del 90%.[6]
- Cirurgia plàstica i dermatològica: accelera la cicatrització de ferides quirúrgiques.[7]

1.2.4.2. Aplicació en l'optometria i en l'oftalmologia

Es poden distingir diferents apartats rellevants en el camp de l'oftalmologia on el làser s'utilitza com a eina per obtenir diferents resultats, ja siguin resultats quirúrgics o de tractament com resultats de diagnosi. En aquest camp s'ha vist que el làser s'utilitza en situacions concretes, com poden ser en:

Teràpia refractiva:

- Per corregir astigmatismes elevats a partir de làser excimer UV, amb ablació dins del 60%-90% del gruix total de la còrnia.[8]
- Per predir el canvi de la curvatura corneal després d'una cirurgia intraestromal.[8]
- Per demostrar l'eficàcia i l'eficiència en les operacions de correccions de miopia amb nd: YAG-làser amb el mínim dany a la superfície corneal.[8]

Teràpia no refractiva:

- Proba l'eficiència i l'eficàcia de la fotocoagulació del làser en pacients amb retinocoroidisme inactiva per prevenir la recurrència de la toxoplasmosis ocular.[8]
- Necessitat d'estimulació per làser en pacients amb hiperfòria i hipertropia.[8]

Diagnosi i mesura:

- Mesurar la velocitat del flux de sang en la retina.[9]
- Mesurar el gruix entre capa i capa dels teixits del globus ocular.[9]
- Mesurar les distàncies intraoculars. [9]

En l'apartat de diagnosi amb làser, s'introdueix un nou sistema dissenyat i ideat en el CD6 per mesurar el temps de ruptura llagrimall amb l'objectiu de determinar si el pacient pateix ull sec. Amb aquest nou sistema es vol aconseguir una tècnica de mesura tant objectiva com no invasiva, a més de ser un mètode notablement més econòmic que els seus principals competidors com poden ser l'OCT o les tècniques de interferometria.

1.2.5. Com s'alimenta un làser?

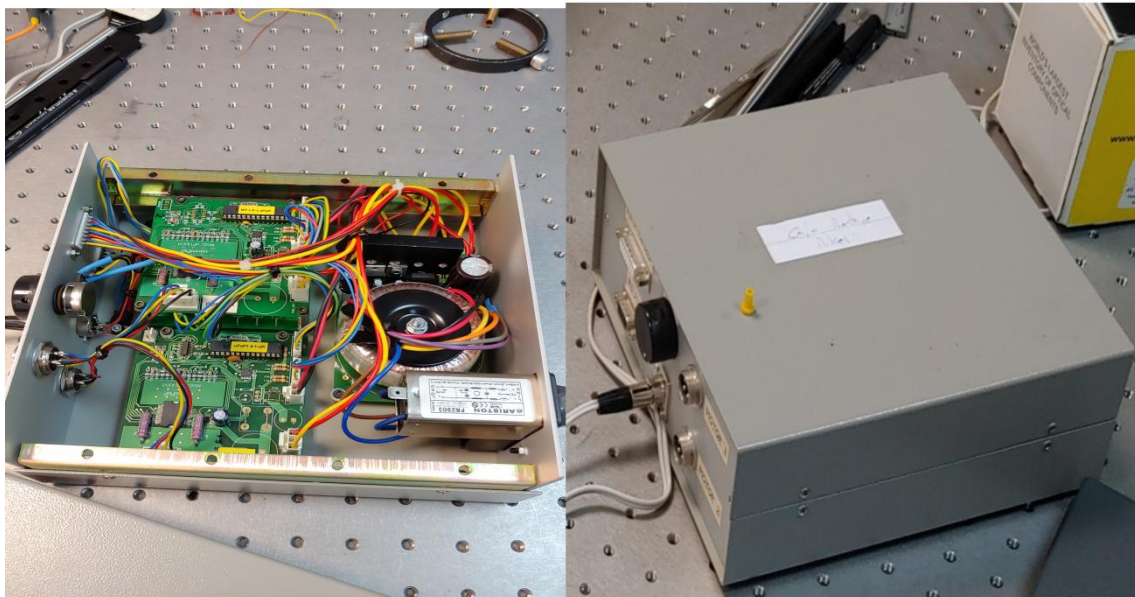
Avui dia es pot trobar un ampli ventall de maneres per alimentar un làser. Una manera d'obtenir energia i electricitat per al seu ús pot ser gràcies a una electrònica aplicada a l'aparell, és a dir qualsevol dispositiu que produeixi un corrent continu d'electricitat, ja sigui a partir d'un generador o d'un endoll amb corrent directe d'un habitatge. En aquest cas el corrent que fa funcionar el làser ve directament d'un endoll amb corrent continu i regula el seu pas una placa elèctrica en forma de bateria electrònica.

Actualment podem adquirir una bateria elèctrica a un cost bastant elevat. Una bateria elèctrica comuna sol tenir un preu aproximat d'entre els 600 i els 700 euros.[10]
[Il·lustració 4]



Il·lustració 4. Imatge d'una bateria elèctrica que podem trobar al mercat.

Però si ens centrem específicament en allò que disposem al departament CD6 de la UPC, la bateria elèctrica amb la que es treballa pot costar uns 200 euros.[Il·lustració 5]



Il·lustració 5. Imatge de la bateria elèctrica que es fa funcionar al CD6.

1.2.6. Graus de perillositat dels làsers

El làser és una eina d'elevat risc, per tant és important fer ús d'unes pautes que controlin els possibles perills que pugui patir l'ull en el procés d'aplicació del làser. Hi ha tres factors diferenciats que poden evitar danyar els teixits del globus ocular: el temps d'exposició, la potència i la longitud d'ona. Un correcte equilibri d'aquests tres factors proporcionaran una utilització encertada del làser.

Els làsers no tenen només un grup al qual s'apliquin límits de seguretat comuns, això és degut, als amplis intervals possibles de longituds d'ona, potència o energia i a les característiques d'emissió.

Els làsers es poden classificar segons el seu grau de perillositat de la manera següent:

- Classe 1: Làsers considerablement segurs [11]
- Classe 2: Làsers de poca potència de sortida que emeten radiació visible (400-700 nm) i que poden funcionar en mode continu o polsat. [11]

- Classe 3A: La visió directa d'un feix de llum làser de la classe 3A amb ajudes òptiques pot ser perillosa. [11]
- Classe 3B: Làsers que poden emetre radiació visible i invisible a nivells que no sobrepassin els límits d'emissió accessible, la visió directa d'aquests sempre és perillosa.[11]
- Classe 4: Son làsers de gran potència, la potència de sortida sobrepassa els límits d'emissió accessible dels de la classe 3B. Els làsers visibles d'IR de Classe 4 poden produir reflexos difusos perillosos. Poden causar lesions a la pell i constituir perill d'incendi. El seu ús requereix precaució extrema.[11]

1.3. Arduino

1.3.1. Definició

És un projecte prototip de font oberta basat en una plataforma que rep i envia informació. Actua com una computadora de dimensions petites i crea dispositius que interaccionen amb el medi.

Conté plaques capaces de llegir inputs i enviar outputs a més de donar instruccions per determinades ordres. Utilitza una programació de llenguatge en C molt bàsica i de fàcil ús que permet o bé fer projectes autònoms o comunicar-se amb un programa que s'executi en un ordinador. El seu entorn de desenvolupament s'integra en estructura Java, aplicació que permet que es pugui fer servir en diferents sistemes operatius, així com: Microsoft, Mac, Linux.

1.3.2. Estructura d'un Arduino

Es poden distingir dos apartats ben importants que conformen el dispositiu d'Arduino. D'una banda el Hardware i d'altre el Software. [12]

El Hardware és el conjunt de components físics i tangibles que formen la seva estructura: [12]

- El microcontrolador, que és un dispositiu capaç de realitzar operacions matemàtiques a alta velocitat.
- L'alimentació externa que s'obté gràcies a una font d'alimentació o pila 9V.

- El connector USB, per ser programat o bé per obtenir alimentació d'una font externa.
- El programador intern
- El botó de reiniciar
- Els pins analògics
- Els pins d'entrada i de sortida digitals
- Els punts de potència
- El polsador reset
- El LED verd d'encesa
- El LED taronja pin 13.



Il·lustració 6. Imatge d'una placa d'Arduino.

El software, en canvi, és el conjunt de programes i aplicacions que fan possible el funcionament d'Arduino, en aquest cas es coneix amb el nom d'Arduino IDE (Integrated Development Environment). Consisteix en: [12]

- Un editor de text: per fer possible la programació, és a dir, l'ordenació d'instruccions que se li volen transmetre.
- L'àrea de missatges
- El text
- La barra d'eines que ajuda a definir quina funció donar.



1.3.3. Tipus

Avui dia, es pot trobar en el mercat una gran varietat de models de plaques d'Arduino. Cadascun dels membres de la família proporcionarien característiques i prestacions diferents, cosa que fa que cada placa sigui més adequada per a cada projecte, i per tant per a cada necessitat.

L'objectiu de tenir tants models de plaques Arduino és cobrir les demandes dels usuaris. Es poden diferenciar a partir de la seva estructura, alguns dels més bàsics i els d'utilització més extensa en el mercat són:

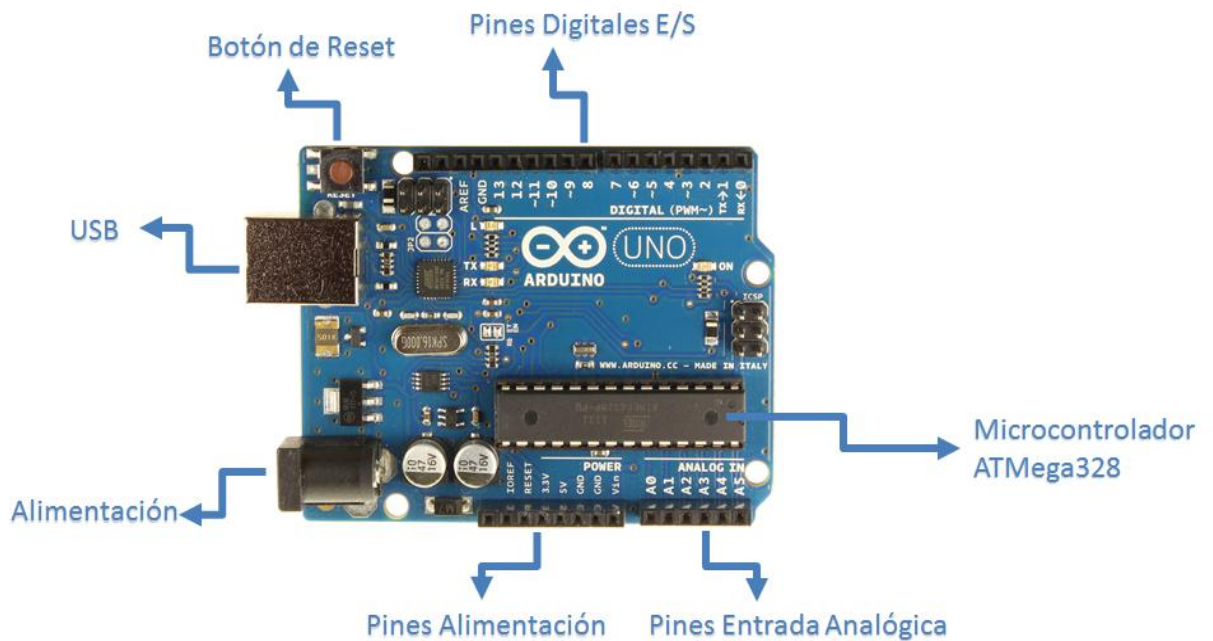
1. Arduino UNO R3
2. Arduino DUE
3. Arduino Leonardo
4. Arduino Mega 2560 Rev3
5. Arduino ADK Rev3

1.3.4. Arduino UNO R3

Arduino UNO R3 és el més utilitzat donat que és el més bàsic de la seva família i, a partir d'un baix cost (21.18€), dona unes prestacions que cobreixen un ampli ventall de necessitats.[13]

1.3.4.1. Forma i estructura

Es tracta d'un sistema amb un microcontrolador de 8 bits ATMEGA328, de la casa Atmel®. Conté 14 pins que es poden configurar com a entrada o sortida digital, els de sortida poden produir o absorbir un corrent de fins a 40 microAmpers. La placa inclou un LED verd d'encesa i un altre connectat al pin 13 utilitzat com a dispositiu de sortida en la verificació de programes. Podem resumir que la placa conté el microcontrolador, un vidre de quars de 16 MHz, un regulador de tensió lineal, conté també un circuit ICSP que permet programar el microcontrolador, un botó de reset i un port USB que permet la seva alimentació externa o la connexió a través d'un ordinador. [14]



Il·lustració 7. Imatge d'una placa Arduino amb les seves parts.

En una placa Arduino UNO R3 es poden destacar algunes especificacions tècniques:

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltatge de l'operació: 5V
- Voltatge d'entrada recomanat: 7-12V
- Pins digitals E/S: 14
- Pins d'entrada analògica: 6
- Consum del pin E/S: 40mA
- Consum del pin 3.3V: 50mA
- Memòria flash: 32kB
- Freqüència de rellotge: 16MHz
- 3 pins GND, Ground.

1.3.5. Per a què s'utilitza?

Arduino s'utilitza en tots aquells casos en què es volen realitzar projectes electrònics que requereixin d'una placa en forma de xip.



Es pot trobar Arduino en moltes aplicacions com per exemple, sistemes de monitorització i telegestió remota per smart buildings, un altre exemple seria la sensorització i la robotització d'un sistema de reg.[12,14]

La placa Arduino juntament amb el seu software indicarà i proporcionarà instruccions i funcions, a més, subministrarà energia en forma de font d'alimentació externa.[15]

1.3.6. Avantatges

Ofereix un ampli ventall d'opcions en el moment de fer-lo funcionar, tant en fer-lo sensible per a que rebi informació de l'exterior com per a que envii informació cap a l'exterior. Per aquesta raó s'ha utilitzat tant en aquests darrers anys. [16]

Els avantatges d'Arduino recauen en:

- El fàcil desenvolupament i l'ús senzill per a usuaris que s'inicien en el món d'Arduino.
- El codi obert, tant quan parlem de software com quan parlem de hardware cosa que el permet adaptar-se a les necessitats del programador.
- Es pot fer servir en diferents sistemes operatius (Windows, Linux o Macintosh).
- Es tracte d'un producte molt econòmic.

L'objectiu d'aquest projecte és proposar un sistema de control d'un làser basat en Arduino, per la seva aplicació en el sistema de mesura de la dinàmica llagrimall desenvolupat al CD6 de la UPC. Amb la finalitat de tenir les mateixes prestacions que la que hi ha actualment, però amb un cost més econòmic.



2. Marc pràctic

En aquest apartat s'ha realitzat la part pràctica del treball. Es desenvolupa i es valida una proposta d'un muntatge d'un sistema de funcionament d'un làser que emet un feix de llum a diferents intensitats. S'ha fet gràcies a la introducció d'unes pautes i ordres traduïdes al software d'Arduino.

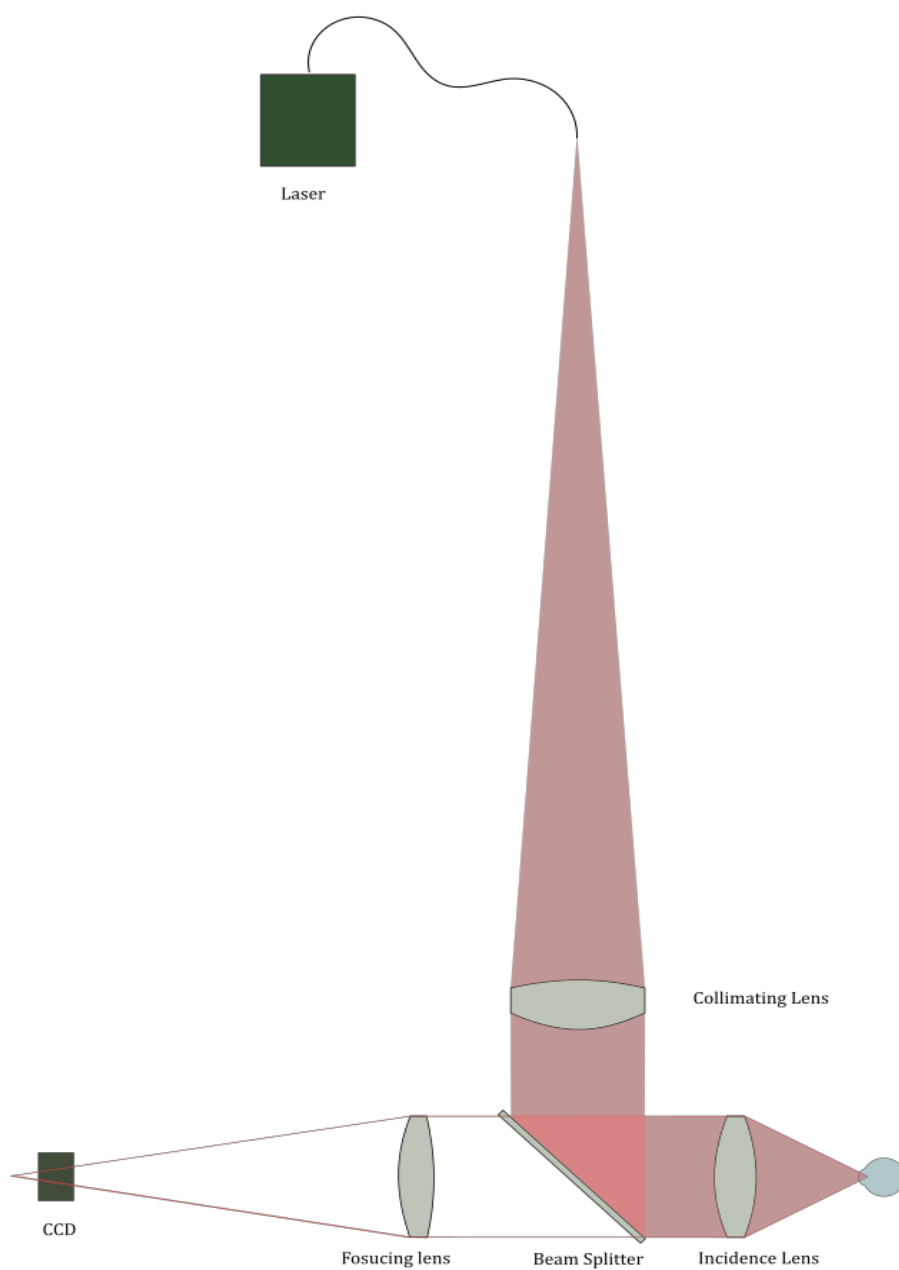
Actualment hi ha diverses maneres de donar corrent i fer funcionar un làser. Aquest projecte es centra en la manera en què obté el corrent i es fa funcionar un sistema amb làser treballat al CD6 per a la detecció precòc de l'ull sec.

2.1. Com funciona el muntatge del làser amb alimentació convencional?

La font de llum del sistema és un làser de diode de 60 mA que emet un feix de llum de 780 nm de longitud d'ona a 1.5mW.

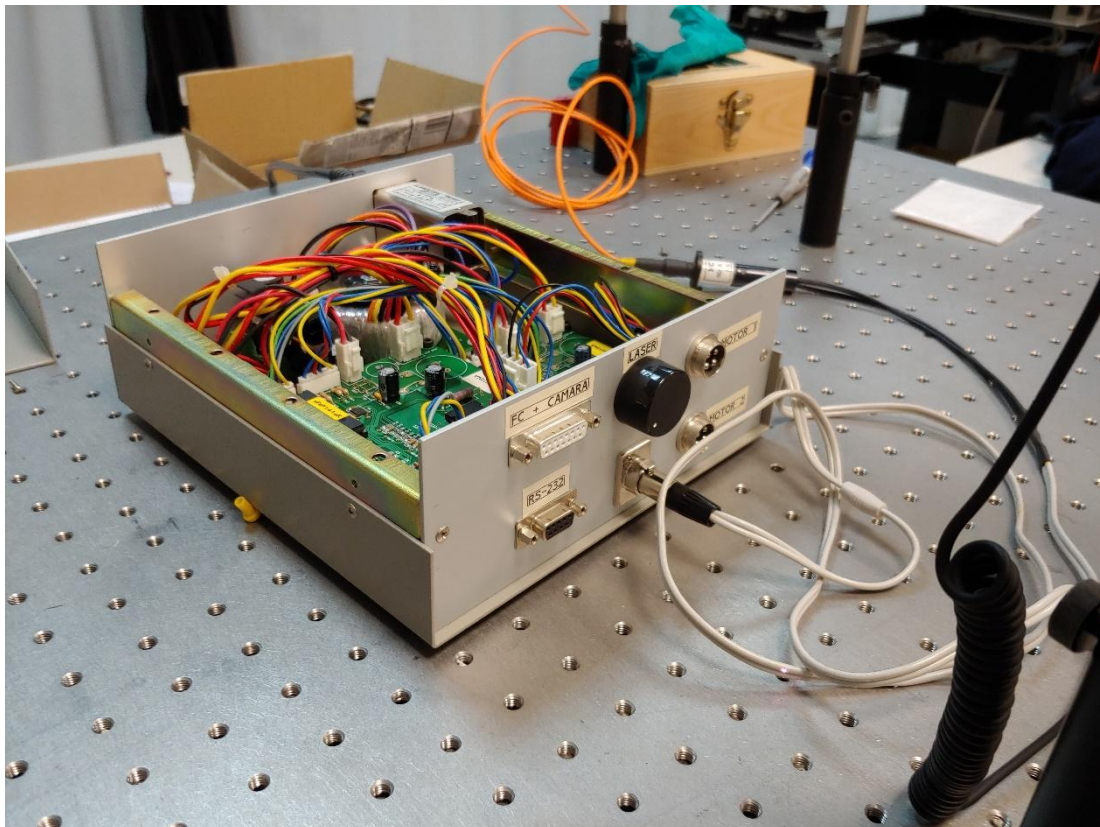
Primer de tot, la fibra làser emet un feix de llum que es situa a 344,52 mm de la superfície posterior de la lent col·limadora i fa que el feix de llum surti col·limat. Seguidament arriba a la BS (Beam Splitter) que es col·loca en un angle de 45° respecte al feix, per reflectir la llum amb un angle de 90° cap a la lent d'incidència. Aquest mirall, envia el feix de llum colimat a una lent de focal 50 mm amb la qual es focalitza el raig de llum al centre de curvatura de la còrnia.

La còrnia actua com un mirall, per tant la llum es reflexa i es col·lima novament per la lent d'incidència. Es transmet pel BS i arriba a la lent d'enfocament. Finalment la llum es enregistrada per una càmera d'enfocament. [Il·lustració 8]



Il·lustració 8. Esquema del muntatge dissenyat per Carla Barnera al CD6.

Aquest làser s'alimenta mitjançant una caixa electrònica feta a mida per un enginyer electrònic del CD6. Aquesta caixa electrònica permet l'emissió del làser i la regulació de la potència de sortida.[Il·lustració 9]



Il·lustració 9. Imatge que mostra la placa electrònica que alimenta i fa funcionar el làser.

2.2. Alimentació del làser amb Arduino

La intenció d'aquest treball és fer funcionar el làser del muntatge explicat prèviament mitjançant una placa d'Arduino que gràcies a un potenciòmetre té la capacitat de variar la intensitat del feix de llum.



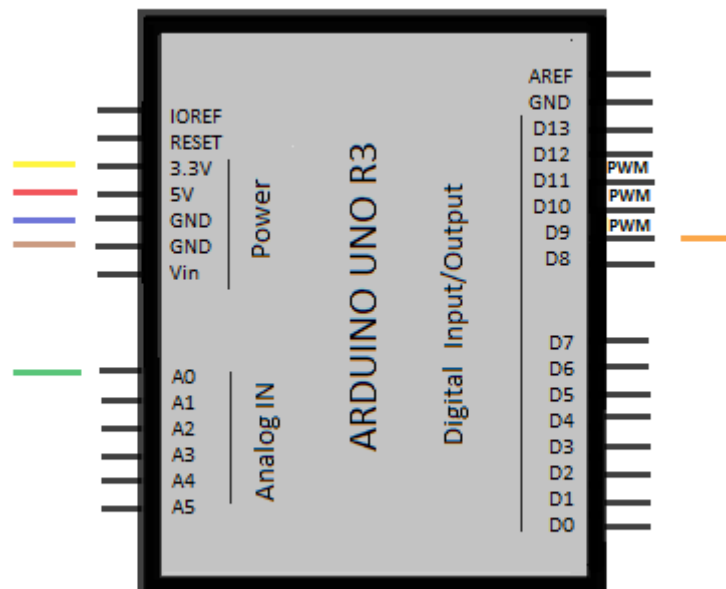
Per aconseguir aquest objectiu, s'ha necessitat:

1. Ordinador.
2. Aplicació del programa Arduino descarregat al nostre sistema operatiu, en aquest cas Windows.
3. Placa Arduino UNO R3.
4. Cable USB .
5. Alimentador per l'Arduino.
6. 6 cables genèrics per a Arduino de diferents colors:

2.2.1. Procediment del muntatge experimental

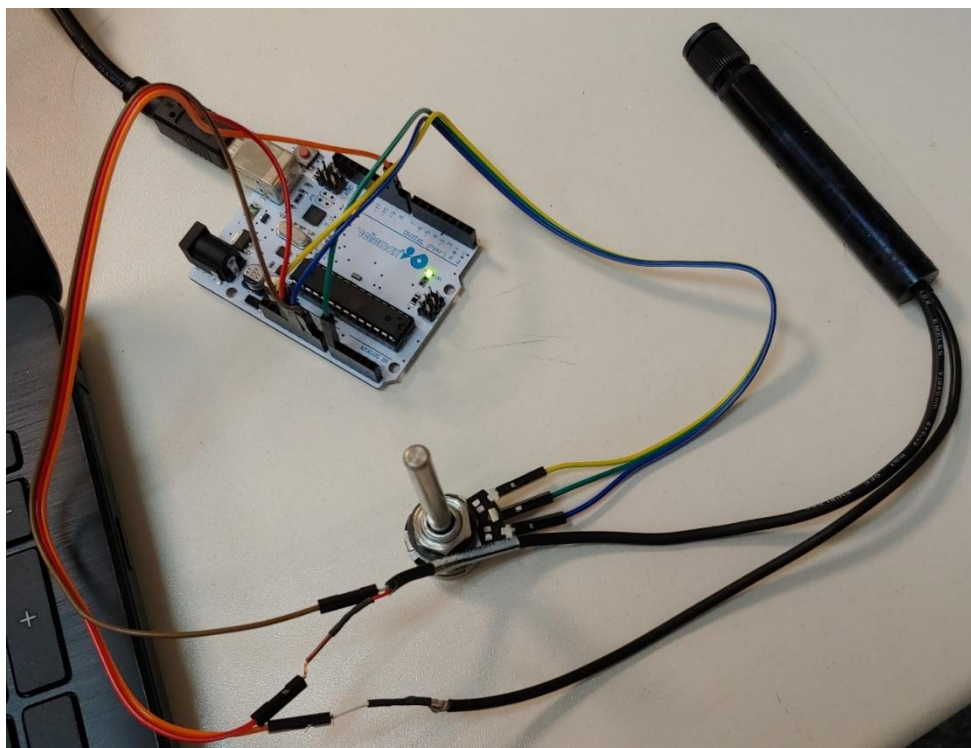
A nivell de Hardware, les connexions que es fan entre els diferents elements (placa, laser i potenciòmetre) són les següents:

1. Cable marró: cable de GND (ground) que connecta Arduino amb el làser.
2. Cable blau: cable de GND (ground) que connecta Arduino amb el potenciòmetre.
3. Cable vermell: cable connectat al pin de 5V.
4. Cable groc: cable connectat al pin 3.3V.
5. Cable verd: cable connectat a un pin d'entrada analògica, que correspondria al que rebria inputs del potenciòmetre. Pin A0.
6. Cable taronja: cable connectat a un pin de sortida digital, que correspondria al que enviaria outputs al làser.



Il·lustració 10. Connexió vista des d'Arduino.

El muntatge explicat prèviament es mostra a la il·lustració 9 un cop muntat.



Il·lustració 11. Representació del muntatge experimental

A nivell de Software, s'ha desenvolupat un petit codi que permet fer funcionar el làser.

A continuació es mostra el codi desenvolupat:

```
// These constants won't change. They're used to give names to the pins used:
const int analogInPin = A0; // Analog input pin that the potentiometer is attached to
const int analogOutPin = 9; // Analog output pin that the LED is attached to
int sensorValue = 0;        // value read from the pot
int outputValue = 0;        // value output to the PWM

// the setup routine runs once when you press reset:

void setup() {
  // initialize serial communication at 9600 bits per second:
  Serial.begin(9600);
}
// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {

  // read the input on analog pin 0:
  sensorValue = analogRead(analogInPin);
  outputValue = map(sensorValue, 0, 690, 0, 250);

  // print out the value you read:
  Serial.println(outputValue);
  delay(100);          // delay in between reads for stability
  analogWrite(analogOutPin, outputValue);

}
```

El codi de lectura desenvolupat pel Software Arduino, es divideix en 3 parts:

La secció que està marcada en vermell, correspon a l'apartat en que s'exposen i s'introdueixen els valors, uns conceptes que el Software dona com a inmutables i que obtindran el nom de variables. Es donen com a variables: **const int** d' analogInPin, l'A0, que és el pin que rebrà informació via Input del potenciòmetre i el **const int** analogOutPin, el pin digital PWM 9 que correspondrà al pin el qual se li envia la informació via Output. A més, també s'introdueixen els valors d' **int** SensorValue com a valor llegit des del potenciòmetre i el valor **int** OutputValue com a valor enviat al làser.

La secció marcada en blau, correspon a l'apartat **void setup** que indica una ordre d'inicialització.



I per últim, la secció marcada amb el color groc és la part més important a nivell de Software, és el `void loop`, on es desenvolupen les ordres principalment. El `sensorValue` indica la lectura del valor del potenciòmetre que es rep en el pin A0, concretament en l'`analogRead` de 0 a 690, aquest valor es reescalat a valors entre 0 a 250 i passa a ser el valor de sortida que s'envia a través de l'`analogWrite`. Després també s'introdueixen les ordres de `Serial.println` per imprimir en pantalla el valor que està llegint i el `delay` per donar una mica de temps a cada canvi d'intensitat, en aquest cas, s'han ordenat 100 milisegons.

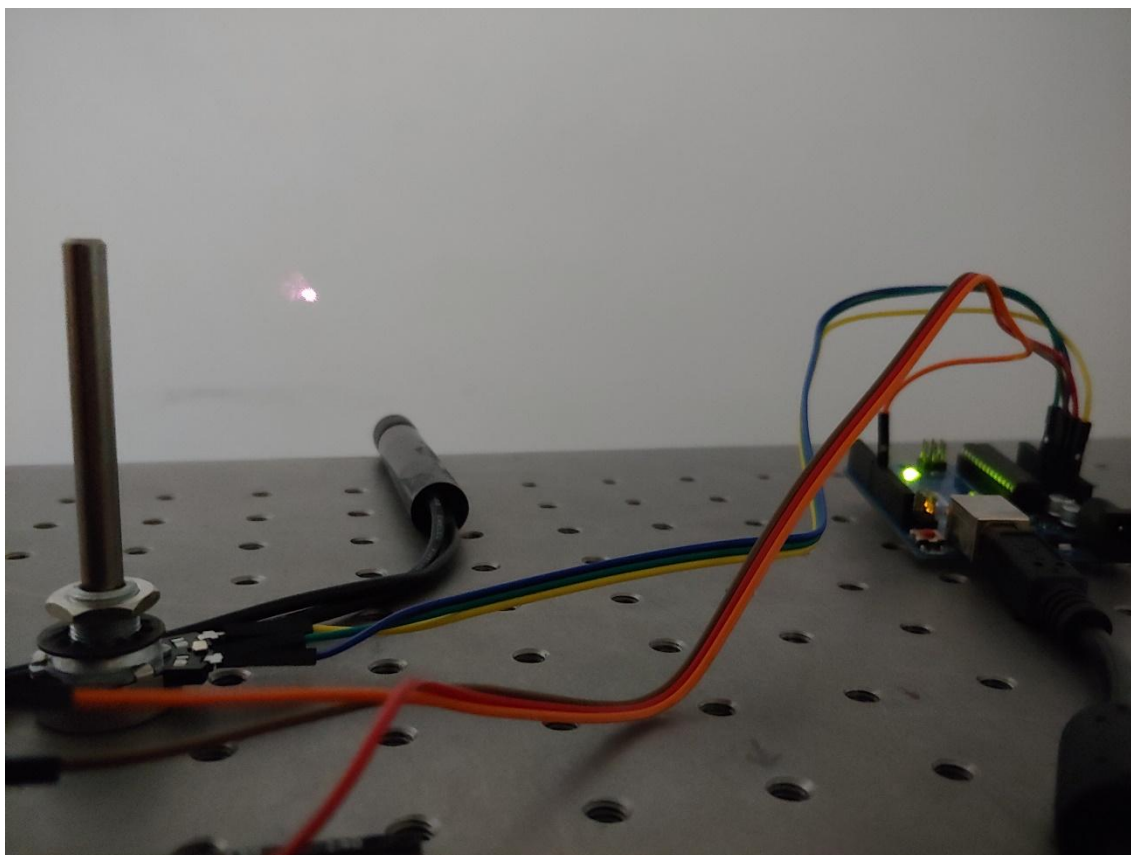
Un cop es té tot connectat, es transmet un corrent continu al muntatge, amb això s'obté una emissió continuada d'un feix de llum que es pot regular amb un potenciòmetre.

3. Resultats i discussió

Amb el muntatge que s'ha explicat en l'apartat anterior, s'ha procedit a comprovar el correcte funcionament de la proposta plantejada basada en Arduino. Els resultats obtinguts es mostren en els següents apartats.

3.1. Emissió d'un feix de llum d'un làser basat en Arduino



Com es pot observar en aquesta imatge, el làser emet un feix de llum en un fons blanc. El dispositiu làser està connectat a la placa Arduino i a un potenciòmetre amb el que es varia la intensitat d'aquest. [Il·lustració 11]



Il·lustració 12. Representació de l'emissió del feix de llum del làser.

3.2. Regulació amb potenciòmetre del làser amb Arduino

A continuació, es mostra un esquema on es representen diversos moments d'emissió de llum del làser amb el valor corresponent i enregistrat dels "Outputs" o informació de sortida.

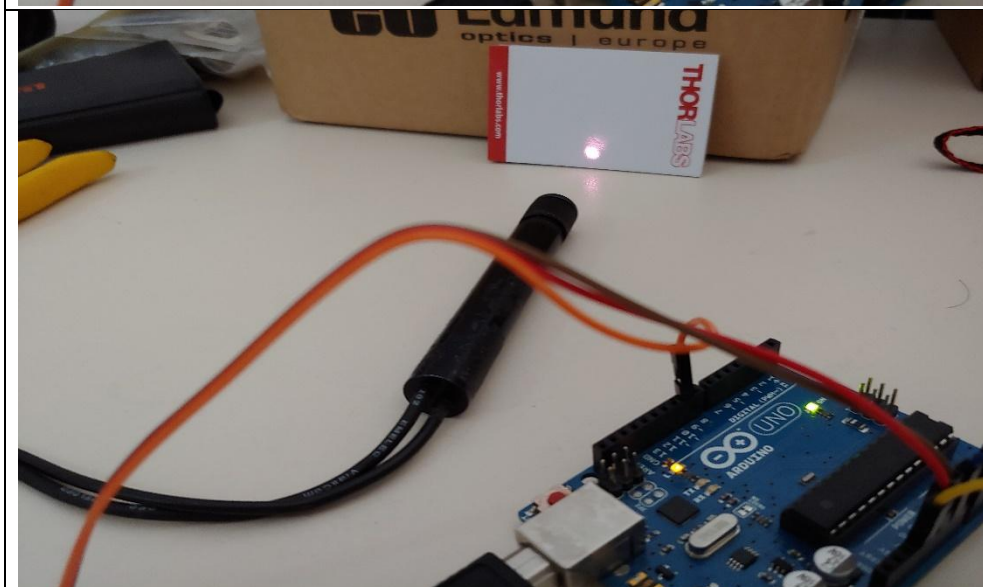
IMATGE	OUTPUT
	0
	60



120



180



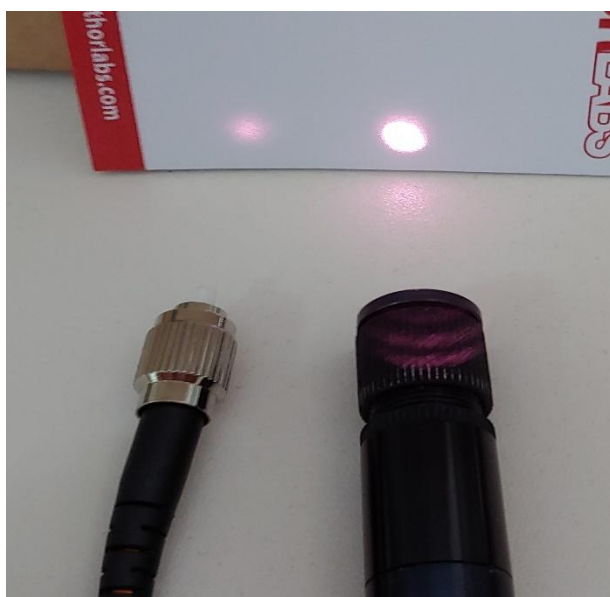
240

Com es pot apreciar en les imatges, a mesura que s'augmenten els valors de l'Output, s'obté més intensitat en el feix de llum.

3.3. Comparativa entre Arduino i la caixa electrònica convencional

3.3.1. Funcionament

Amb aquests dos mètodes de funcionament, es pot veure que el sistema làser funcionar tant amb l'alimentació d'una placa elèctrica convencional com amb la de la placa Arduino UNO R3 que es proposa connectat a corrent continu.



Il·lustració 13. Imatge que mostra a l'esquerra el funcionament del làser amb alimentació convencional i a la dreta el làser alimentat amb el nostre sistema Arduino.

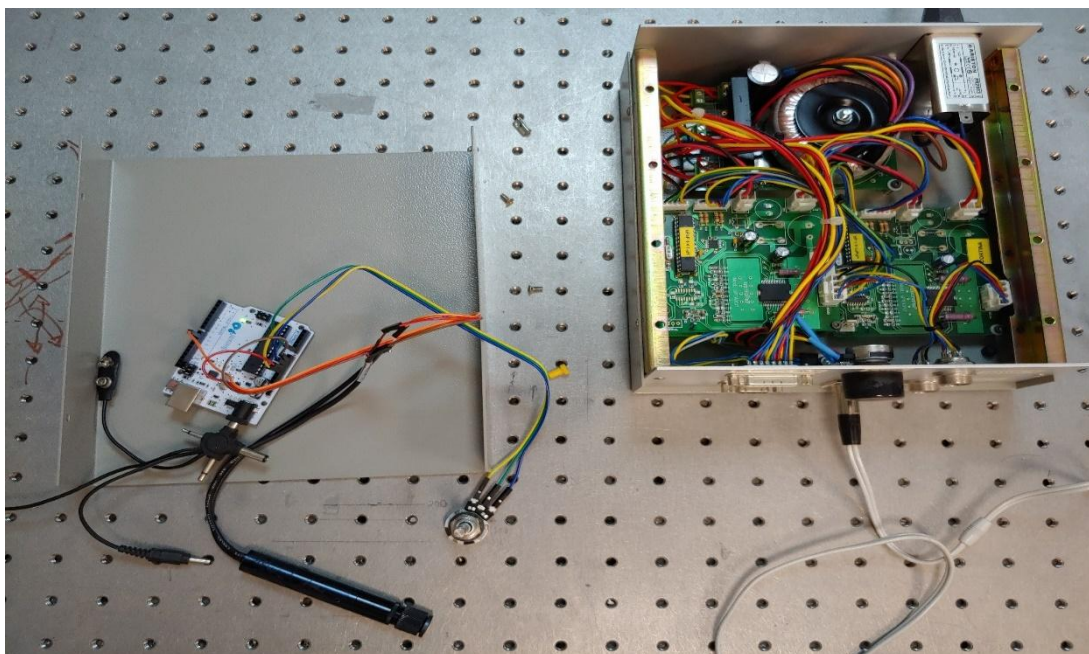
3.3.2. Cost

Comparant els preus dels materials d'ambdós casos, es pot concloure que en el cas de la bateria elèctrica, és molt més car de fer-lo funcionar. En la nostra proposta, el sistema alimentat amb Arduino ha suposat un preu aproximat de 21,18 euros[12], el de la font d'alimentació convencional que es disposa, en canvi, és de 200 euros.

Arduino	Font d'alimentació convencional
<ul style="list-style-type: none"> • Placa Arduino [12] 21,18€ • Cables genèrics (120 unitats) 6,90€ • Potenciòmetre 10,50€ 	<ul style="list-style-type: none"> • Caixa electrònica del CD6 200€
Total: 26.40€	200€

3.3.3. Dimensions

Només cal observar les dimensions de les dues tècniques per a poder deduir quin mètode és el més pràctic. Cal afegir que és més portable i manejable gràcies a les seves característiques.



Il·lustració 14. Comparativa entre la font d'alimentació convencional (a la dreta) i la nostra proposta (a la esquerra).



4. *Conclusions*

Com s'ha pogut veure el làser té una gran importància en diferents aplicacions, entre d'altres en l'oftalmologia. Dins d'aquest àmbit, en el CD6 s'ha desenvolupat un sistema per mesurar la inestabilitat de la pel·lícula llagrimall quan es fa servir un làser. Aquests làsers normalment, s'alimenten amb caixes electròniques dedicades amb un preu elevat, en aquest treball ens hem proposat alimentar un làser mitjançant un sistema Arduino que es molt més econòmic. S'ha proposat un Hardware del sistema així com un Software pel control de l'emissió del làser i hem vist que el funcionament del làser és equivalent al de la caixa electrònica convencional, per tant veiem factible aquesta substitució amb l'avantatge de ser molt més econòmic i portable.

5. Bibliografia

- [1] A.L. Schawlow, C.H. Townes, *Infrared and Optical Masers*, Physical Review, 112 (1958) 1940-1949.
- [2] M . Martínez Morillo J .M. Pastor Vega F. Sendra Portero, *Manual de medicina física*, llibre publicat 1998.
- [3] Edward L Safford., Paraninfo segunda edición. *Introducción a la fibra òptica y el laser*.1994.
- [4] Dr. Leon Goldman, Ronald W. Waynant, *Lasers in medicine*, 2002.
- [5] A. Orellana Molinaa , A. Hernández Díaz , P.J. Larrea Coxa , S. Fernández Yanes a y B.M. González Méndez, *Láser infrarrojo frente a acupuntura en el tratamiento del espolón calcáneo*. Revista de la sociedad española del dolor, 2010.
- [6] Dra. Bianka Ma. González Méndez , Dr. Adel Hernández Díaz, Dra. Barbara Bontero Barceló, Dr. Adonis Estévez Perera , Dra. Alina Orellana Molina, *Tratamiento del síndrome del túnel carpiano con láser infrarrojo*, Revista Cubana de Reumatología, Volumen X, Num. 11, 12, 2008.
- [7] Gregory B. Altshuler, Reginald Birngruber, Marco Dal Fante, *Medical Proceeding of Applications of Lasers in Dermatology, Ophtalmology, Dentstry, and endoscopy*. Session 7 124-138 pagines. San Remo, Italia, 4-7 Setembre 1997
- [8] Rosario Brancato, Adolf F. Fercher, A. S. Melamed, Pascal O. Rol editors, *Lasers in Ophtalmology* 2. 9-10 Setembre 1994.
- [9] George A., Moo Young, High-tech Medicine, Lasers in Ophtalmology, 1985.
- [10] Thorlabs, T-Cube Laser Diode Driver. 6 de juny del 2019
- [11] M^a José Rupérez Calvo Doctora en Ciencias Químicas, Instituto nacional de higiene en el trabajo. *NTP 261: Láseres: riesgos en su utilización*. Ministerio de trabajo y asuntos sociales en española.
- [12] Javier Mata Contreras, Rafael de Jesús Navas González, Departamento Electrónica, "sensores biológicos sobre arduino con conexión bluetooth a app android", Febrer 2017.



- [13] Diotronic componentes electrónicos Arduino Uno Rev 3, Diotronic, S.A. | Juan Bravo, 58 Madrid | Muntaner, 49 Barcelona | Goya, 83-85 Zaragoza, Juny del 2019
- [14] Julio Rubén Sánchez Torrecilla, Tomás Carlos Sogorb Devesa *"Sistema de monitorización y telegestión remota basado en Arduino para Smart Buildings"* Gandia, 2014
- [15] García Ruiz, Francisco Javier i Javier Sáez González, *Sistema de Control de Riegos* Universidad de Valladolid, Juliol-2016
- [16] Ruben Jorge Lopez Tarruella, *Arduino sensorización y domotización de un sistema de riego*, Juny 2018.

6. Taula d'il·lustracions

1. Il·lustració 1: <https://mundo.sputniknews.com/defensa/201807031080111777-china-presenta-zkzm-500-fusil-laser-no-letal-ak-47/>
2. Il·lustració 2: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/114643/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
3. Il·lustració 3: <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/temas/fisica-y-aplicaciones-del-lser-507/la-technica-de-los-discos-compactos-technica-del-lser-azul-para-discos-compactos-461>
4. Il·lustració 4: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=3355
5. Il·lustració 6: <https://www.amazon.ae/Arduino-Uno-R3/dp/B07NDZVKV3?ref=SQAE-WEB-DP301>
6. Il·lustració 7: https://www.taringa.net/+info/conseguir-tu-propio-laburo-aprendiendo-a-usar-arduino-parte-1_zgu4v